

Bedarfsgerechte Optimierung des Velonetz Uster

Bachelorarbeit – Cyrano Golliéz – FS 2020

Ziel der Projektarbeit

- Uster zu verbessern, um den künftigen Bedürfnissen gerecht zu werden
 - Teil der praktischen Ausbildung im Bereich Infrastrukturmanagement
 - Behandlung realer Probleme
 - Anwendung geeigneter Verfahren und Methoden
 - Entwicklung kreativer Lösungen

Grundlagen und Theorie

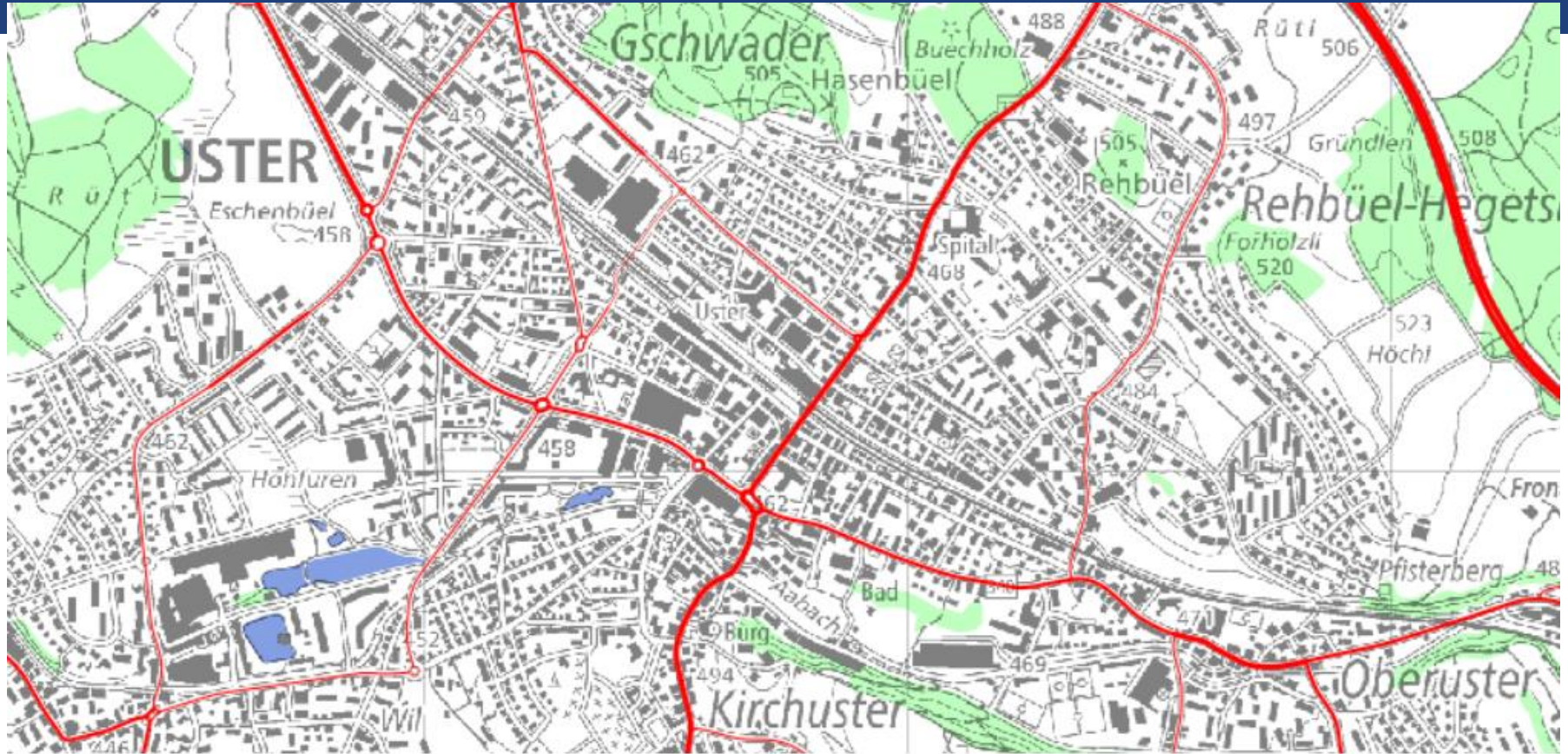
- Problemlösungsprozess
- Zielfunktion
- Entscheidungsbaum
- Sensitivitätsanalyse



- Stadt mit grossem Wachstumspotenzial
- Zentrumsentwicklung
- Quartiere Nord
- Problem: Verkehrssituation

Quelle: GIS-Browser, 09.05.2020

Uster

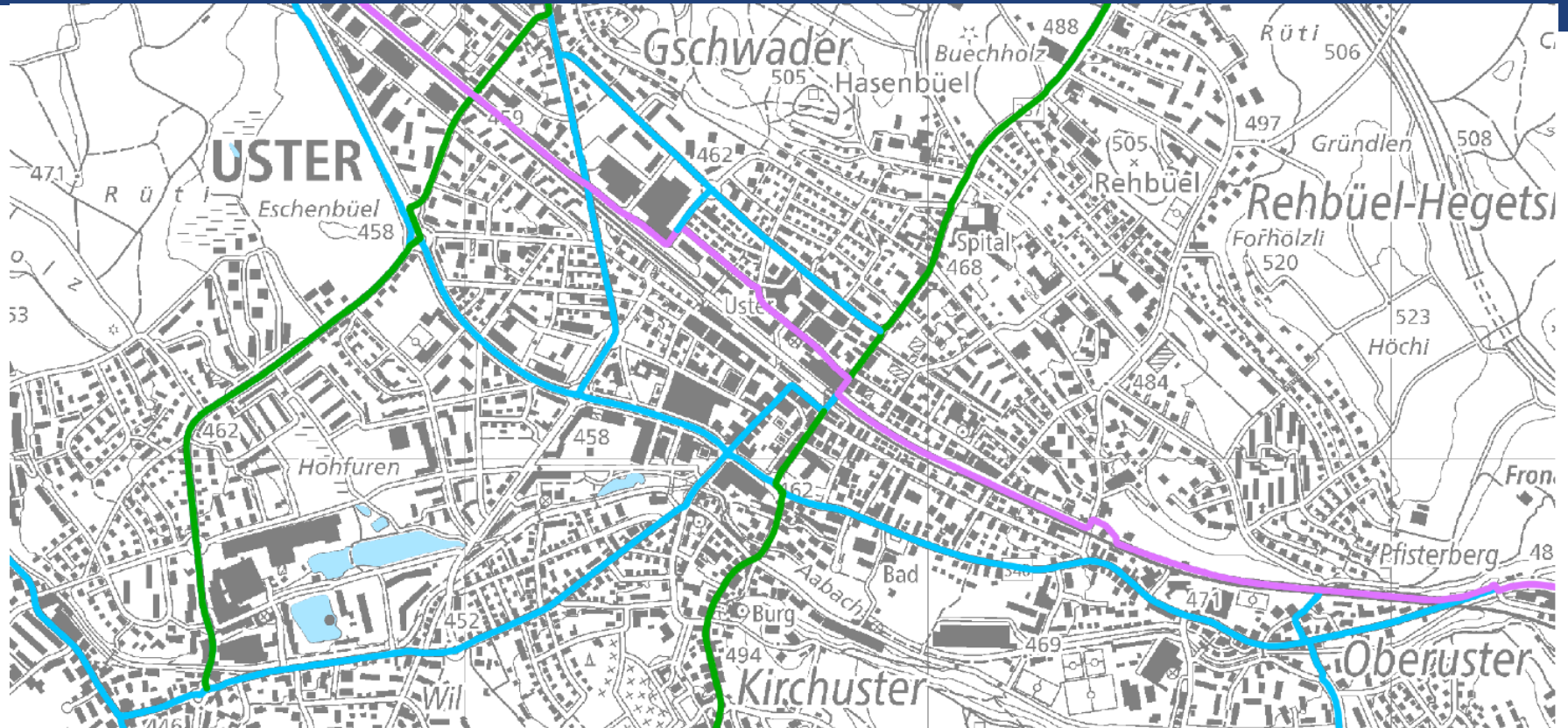


Quelle: GIS-Browser, 09.05.2020

Gesamtverkehrsmodell Uster

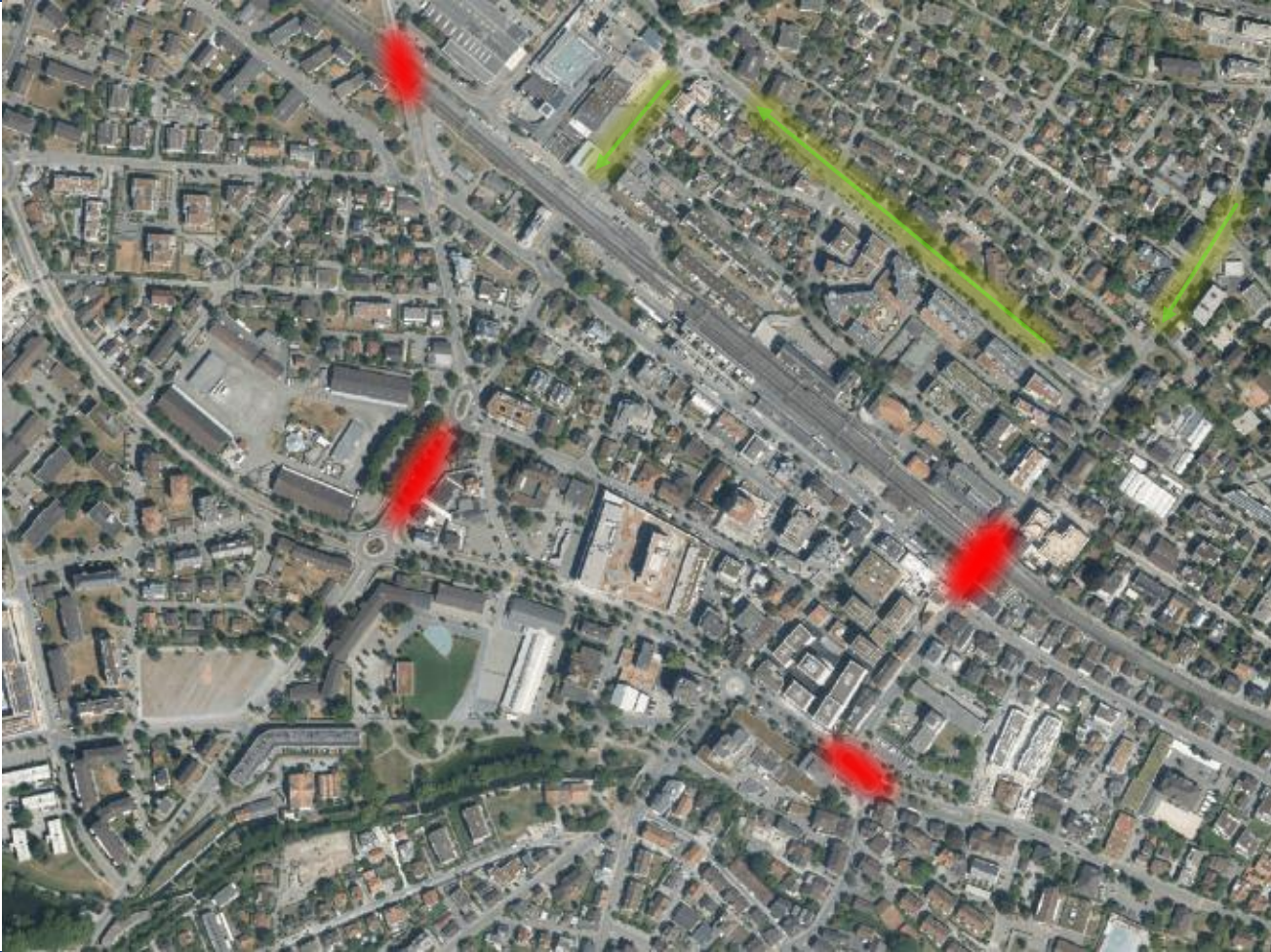
Quelle: STEK

Verkehrsprojekte



Quelle: GIS-Browser, 09.05.2020

Velonetz

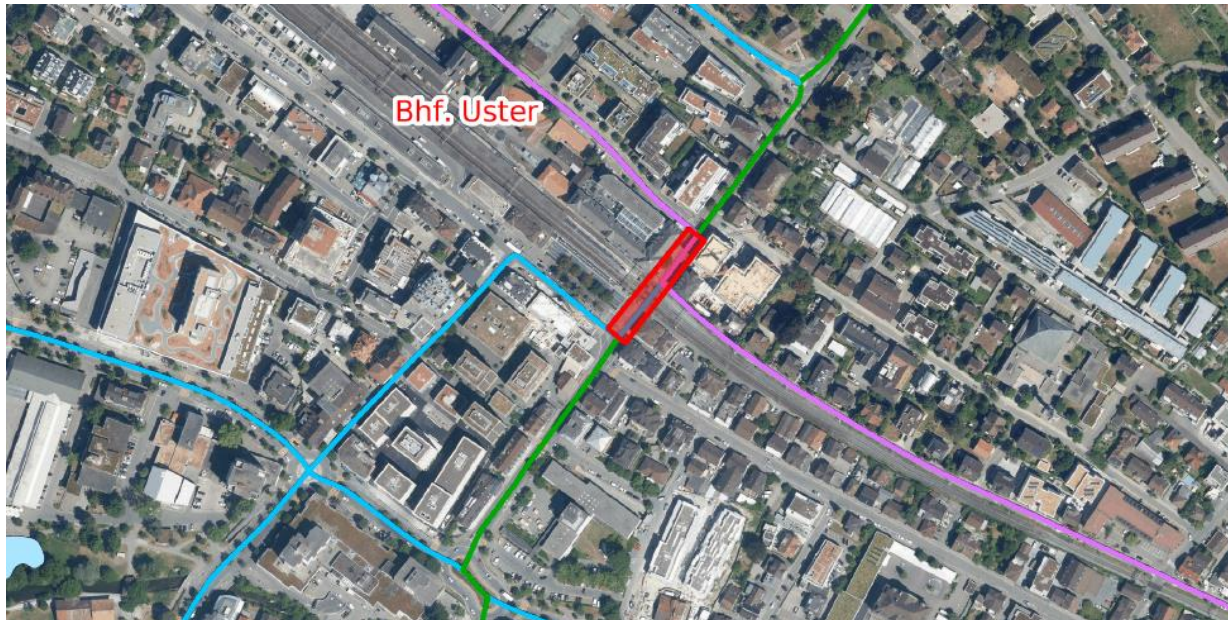


Quelle: GIS-Browser,
09.05.2020

Schwachstellen im Verkehrsnetz

Fokus

Bahnübergang Brunnenstrasse



Quelle: GIS-Browser, 09.05.2020

- Hauptknoten Velonetz
- Wichtige Nord-Süd Verbindung
 - Spital Uster
 - Sportanlage Buchholz
 - Quartiere nördlich des Bhf.
- Lange Wartezeiten
 - Bahnschranke $\approx 40'/h$ geschlossen

Ziele des Eingriffs

- Erreichbarkeit verbessern
 - Verkehrssicherheit erhöhen und Reisezeit verkürzen
- Strassenraum aufwerten
- Nutzen der Interessensgruppen vergrössern
- Zukunftsorientiert
 - Für 40 Jahre

Interessensgruppen

■ Besitzer

- Gemeinde Uster
- Kanton Zürich
- SBB

- Bau- und Wartungskosten

■ Nutzer

- Autofahrer
- Velofahrer

- Betriebskosten
- Reisezeitkosten

■ Öffentlichkeit

- Direkt- und indirekt Betroffenen

- Umweltbelastungskosten
- Unfallkosten

Zielfunktion

$$\text{Min. } K = \text{Min. } [K_U + K_B + K_{TT} + K_E + K_A]$$

$$K_U \geq 0, K_B \geq 0, K_{TT} \geq 0, K_E \geq 0, K_A \geq 0$$

wobei:

K = Totale Kosten über den betrachteten Zeitraum von T Jahren

K_U = Totale Unterhalts- und Baukosten

K_B = Totale Betriebskosten

K_{TT} = Totale Reisezeitkosten

K_E = Totale Umweltbelastungskosten

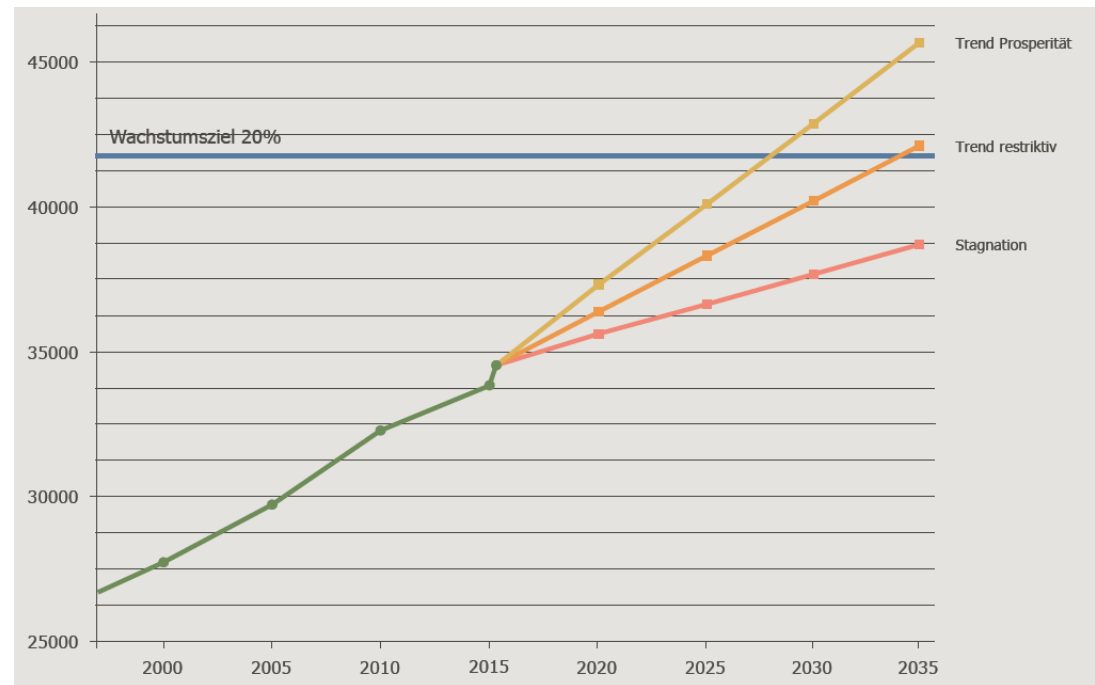
K_A = Totale Unfallkosten

Unsichere Einflüsse:

- Bevölkerungswachstum
- Zentrumsentwicklung und Verkehrsberuhigung
- Ausbau der Veloparkieranlagen
- Aufwertung der Quartiere nördlich des Bahnhofs
- Förderung des Langsamverkehrs
- Ausbau Spital und Sportanlage Buchholz

Bevölkerungswachstum

- Szenario SB1:
 - Wachstum: +0.5%
 - Eintrittsw'keit: 25%
- Szenario SB2:
 - Wachstum: +1.0%
 - Eintrittsw'keit: 50%
- Szenario SB3:
 - Wachstum: +1.5%
 - Eintrittsw'keit: 25%

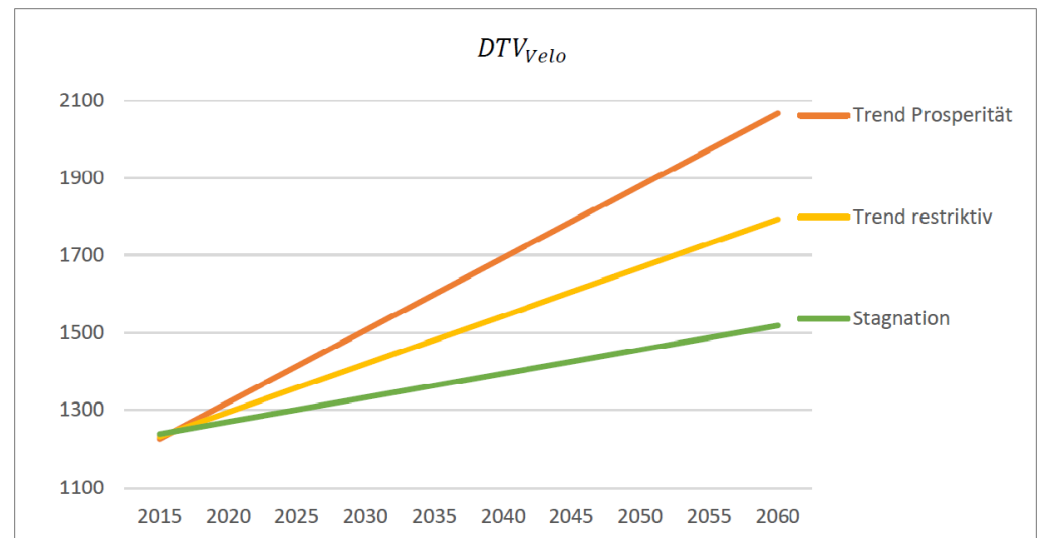
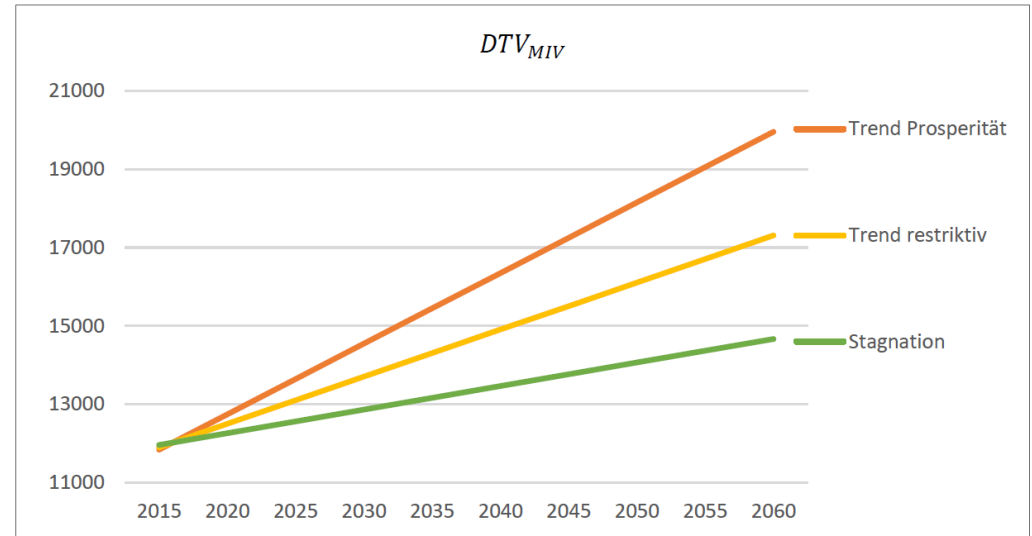


Quelle: STEK

DTV:

Tägliches Verkehrsaufkommen

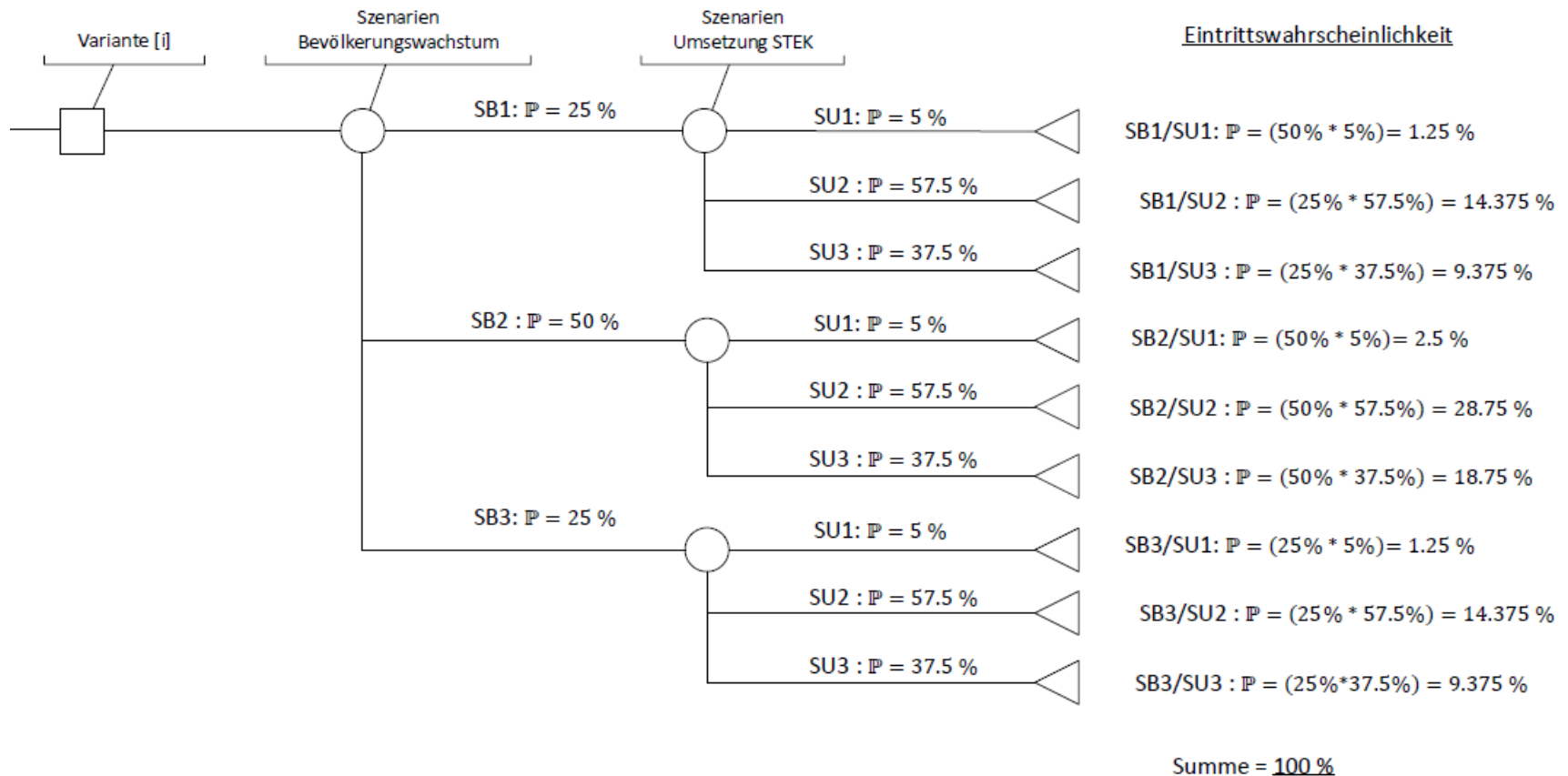
- 2016 (GIS):
 - DTV-MIV: 12'023
 - Velo-Anteil: 10.35%



Umsetzung STEK

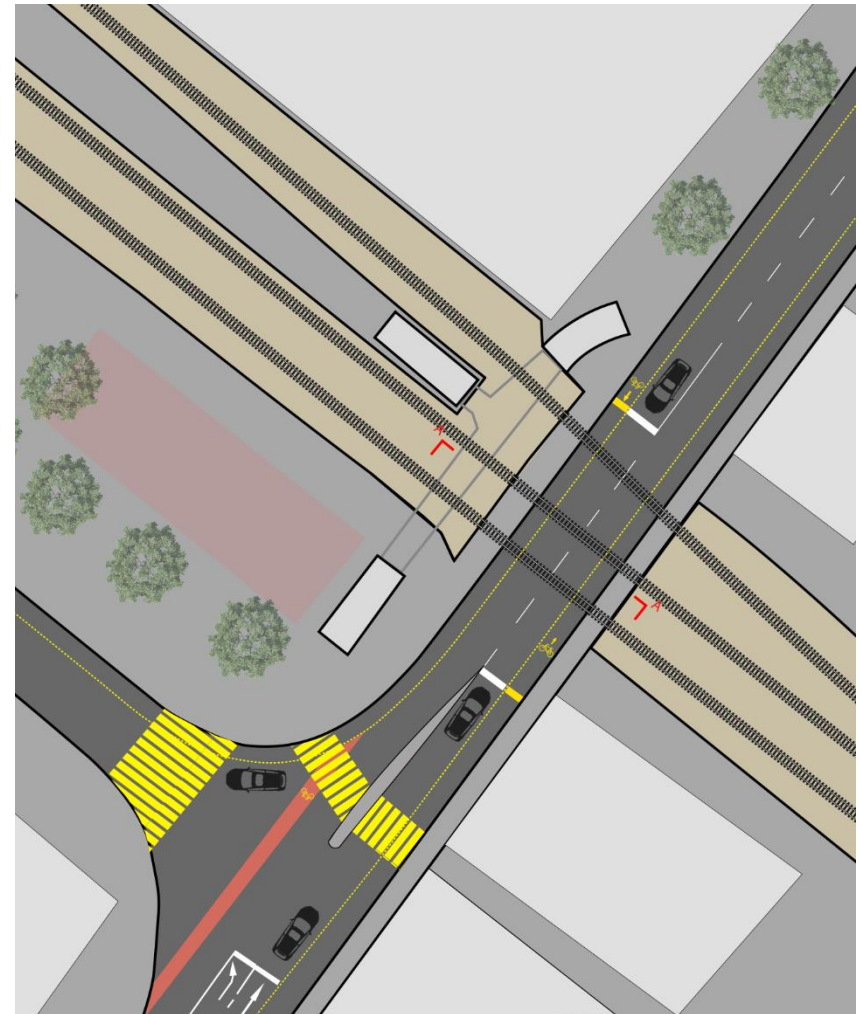
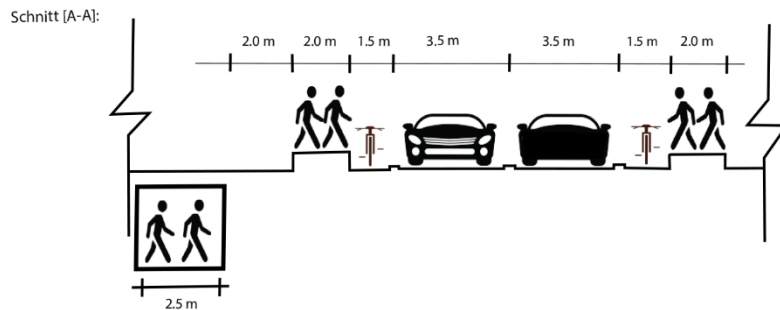
- SU1: Eintrittswahrscheinlichkeit 5%
 - Prognose STEK: Stagnation
 - Jährliches Wachstum: 0.5% → + 7 Velos/Tag
- SU2: Eintrittswahrscheinlichkeit 57.5%
 - Wachstum Leistung Langsamverkehr: 32% (Verkehrsperspektive 2040)
 - Jährliches Wachstum: 1.3% → + 16 Velos/Tag
- SU3: Eintrittswahrscheinlichkeit 32.5%
 - Übermässiges Wachstum
 - Jährliches Wachstum: 2% → + 25 Velos/Tag

Szenarien



Variante 1

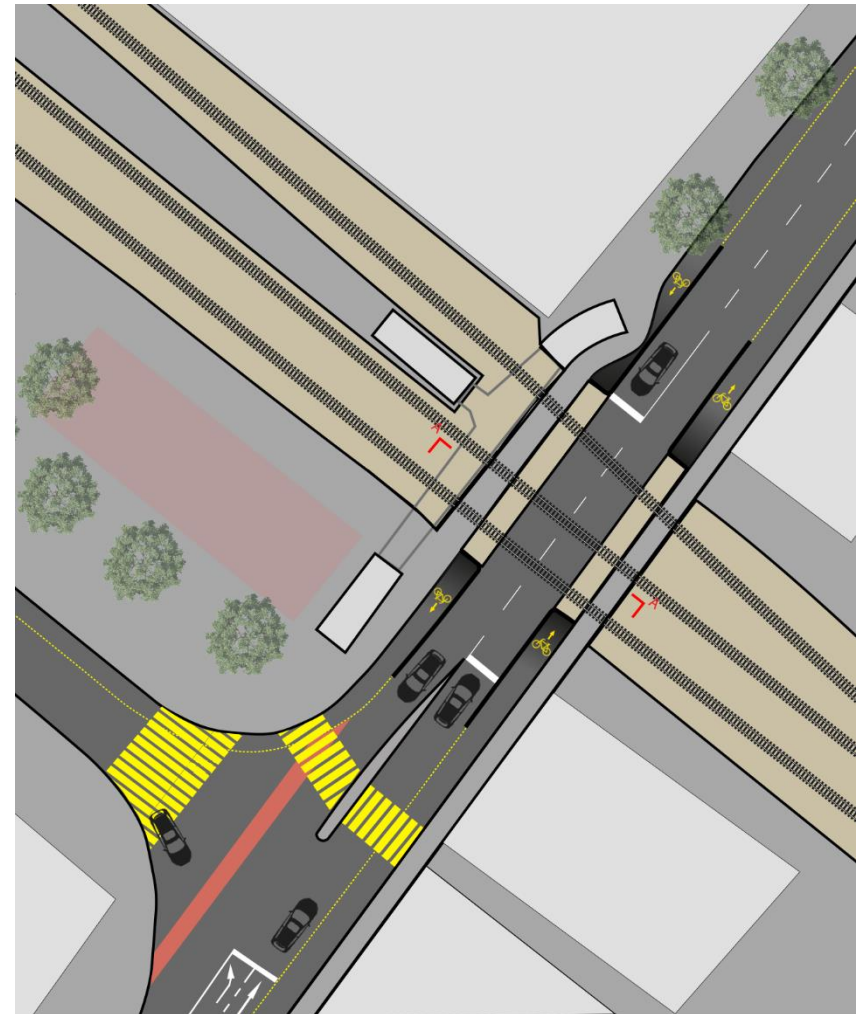
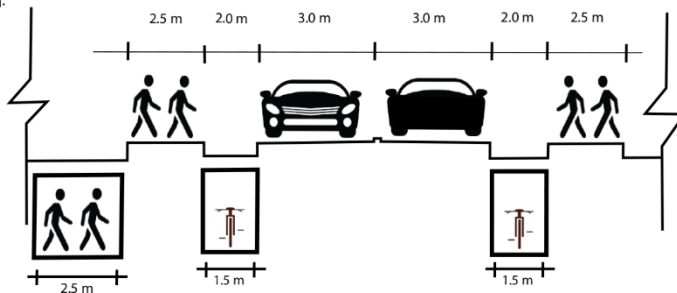
- Länge: 80 m
- Breite Velospur: 1.5 m
- Breite Autospur: 3.5 m
- Tempolimit: 50 km/h
 - Fahrgeschwindigkeit:
 - MIV: 37 km/h
 - Velo: 15 km/h
- Kapazität: [Fahrzeuge/h]
 - MIV: 2500
 - Velo: 3350



Variante 2

- Länge: 80 m
 - Unterführung: 55 m
- Breite Velospur: 1.5 m
- Breite Autospur: 3 m
- Tempolimit: 30 km/h
 - Fahrgeschwindigkeit:
 - MIV: 30 km/h
 - Velo: 20 km/h
- Kapazität: [Fahrzeuge/h]
 - MIV: 2500
 - Velo: 3767
- Wartezeit: 5'

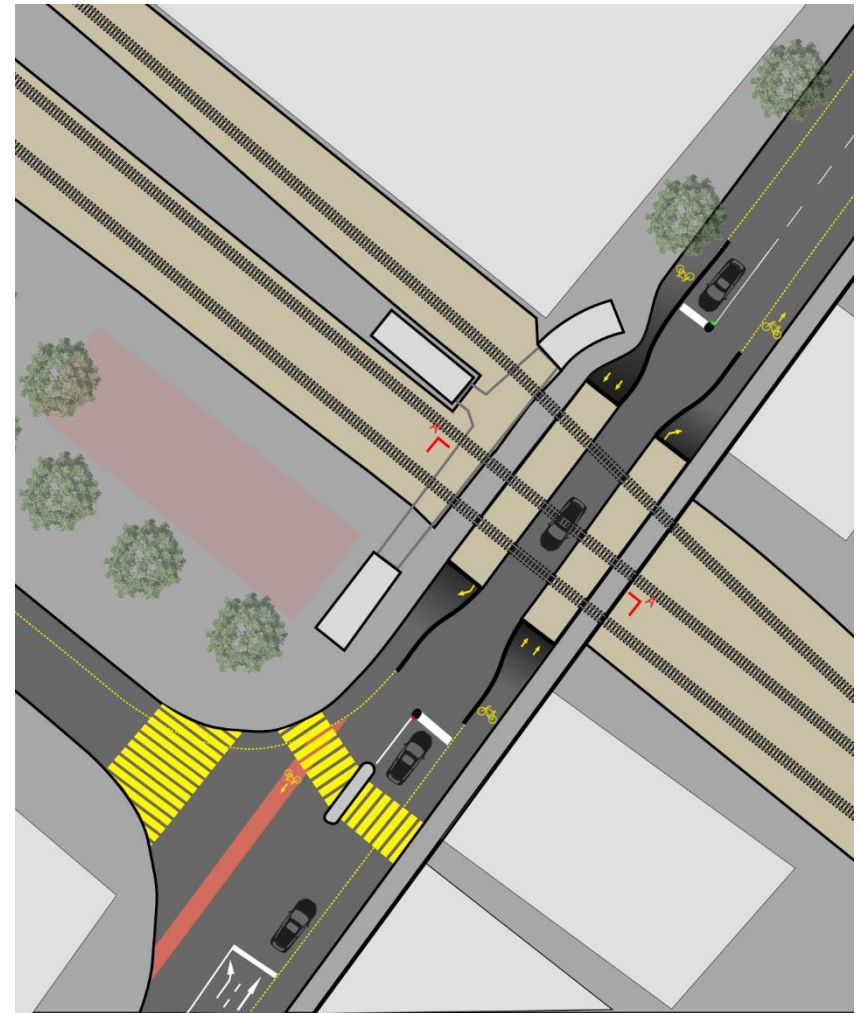
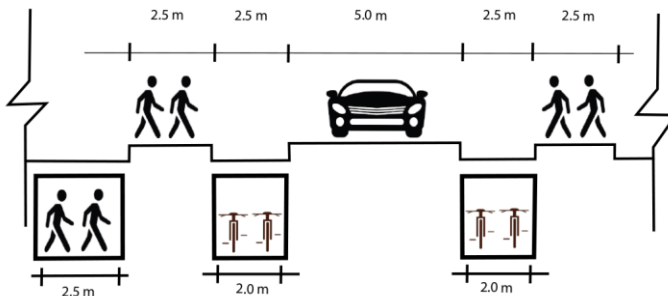
Schnitt [A-A]:



Variante 3

- Länge: 80 m
 - Unterführung: 65 m
- Breite Velospur: 2 m
- Breite Autospur: 5 m
- Tempolimit: 30 km/h
 - Fahrgeschwindigkeit:
 - MIV: 30 km/h
 - Velo: 25 km/h
- Kapazität: [Fahrzeuge/h]
 - MIV: 1250
 - Velo: 4600
- Wartezeit: 7'

Schnitt [A-A]:

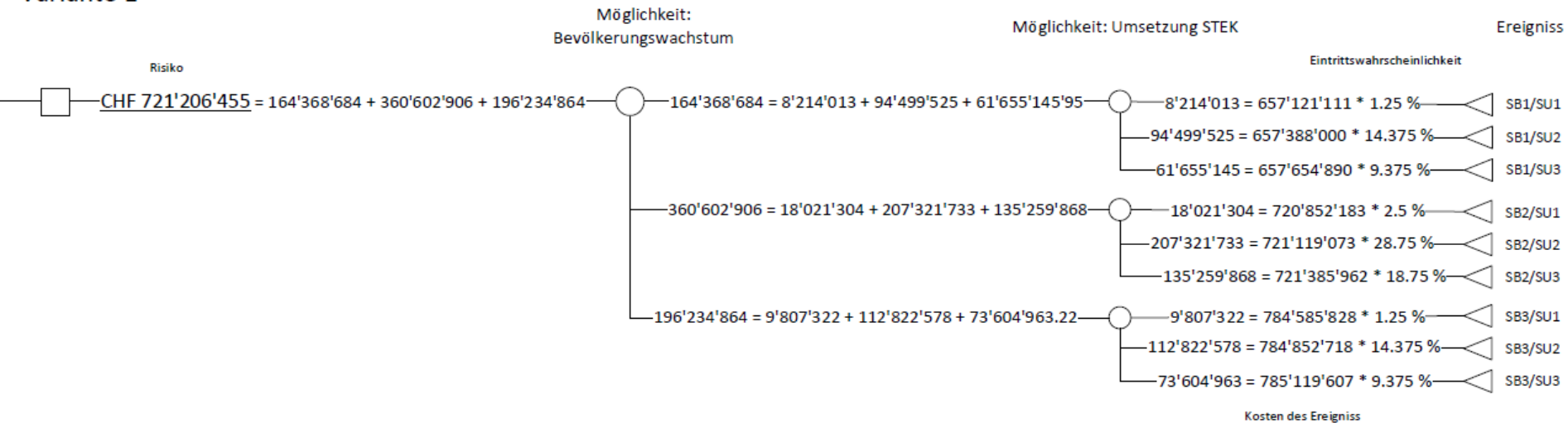


Kostenberechnung eines Szenarios

Variante: 1 Szenario: SB2/SU2	Jahr:	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
	DTV_{MIV}	12384	12504	12624	12744	12865	12985	13105	13225	13346
	$t_{MIV} [h]$	0.08549608	0.08549611	0.08549613	0.08549616	0.08549618	0.08549621	0.08549623	0.08549626	0.08549629
	DTV_{velo}	1298	1311	1323	1336	1348	1360	1373	1385	1398
	$t_{velo} [h]$	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667	0.088666667
Besitzer	Unterhaltskosten	-	72'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000
Nutzer	Betriebskosten	258809	261321	263833	266345	268857	271369	273881	276393	278905
	Reisezeitkosten	13008470	13134670	13260870	13387070	13513271	13639472	13765673	13891874	14018075
Öffentlichkeit	Umweltkosten	17'527	17'257	16'984	16'707	16'426	16'143	15'855	15'564	15'270
	Unfallkosten	8320	8400	8481	8561	8641	8722	8802	8883	8963
	Totale Kosten pro Jahr	CHF 13'354'619	CHF 13'230'261	CHF 13'226'384	CHF 13'290'503	CHF 13'354'619	CHF 13'418'731	CHF 13'482'840	CHF 13'546'946	CHF 13'611'048
Gesamtkosten bis 2060	CHF 721'119'073									

Risikoberechnung einer Variante

Variante 1



Sensitivitätsanalyse

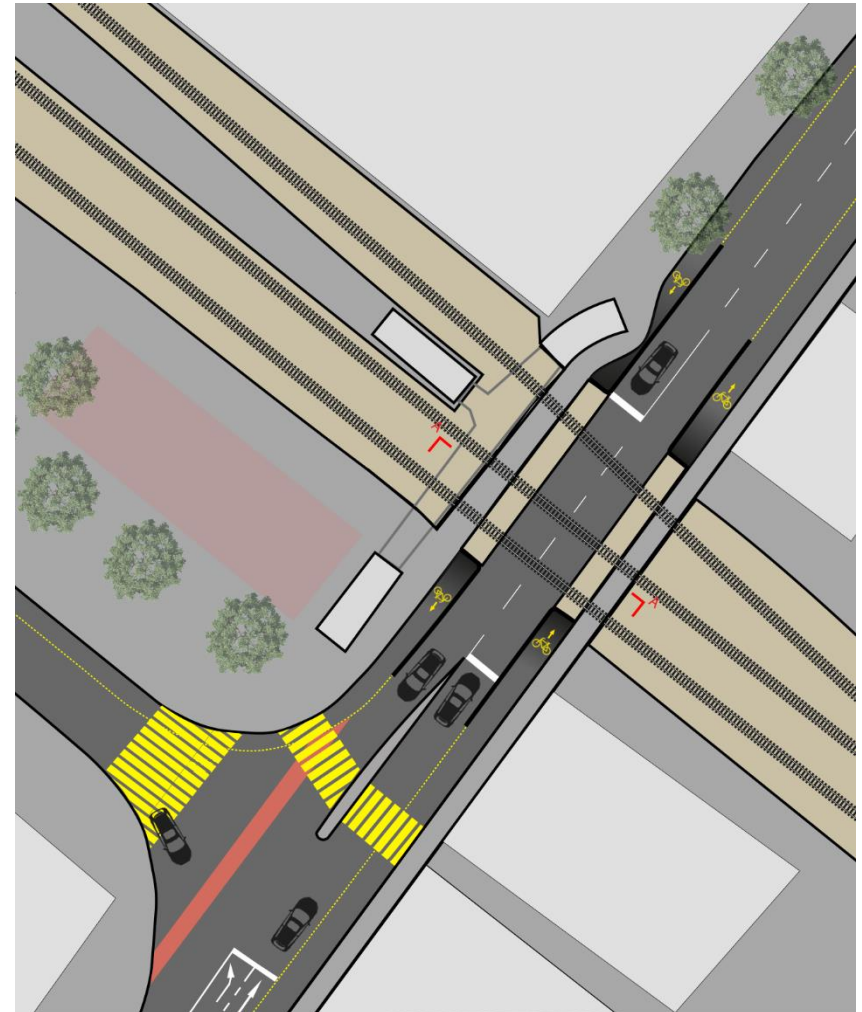
- Zustand 0:
 - Unverändert
- Zustand 1:
 - E-Auto Anteil verändert -> auf 50% in 2050 reduziert
- Zustand 2:
 - Unfallrisiken der Varianten 2 und 3 verändert
- Zustand 3:
 - Eintrittsw'keiten der Szenarien verändert
- Zustand 4:
 - Veränderung der durchschnittlichen Wartezeit der Variante 3

Resultat

Variante 2 deckt den
Bedarf nach Mobilität in
Uster optimal

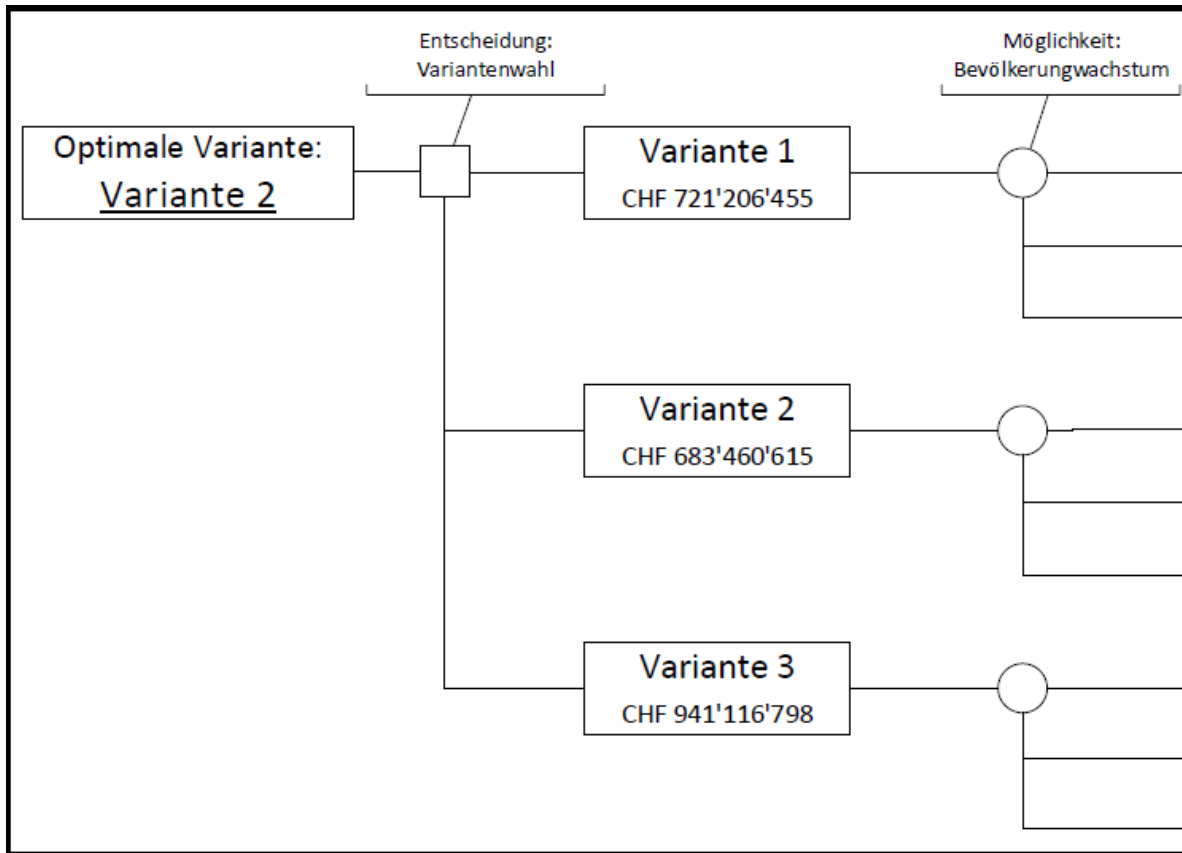
Optimiert die Zielfunktion

Grösste
Nutzenmaximierung



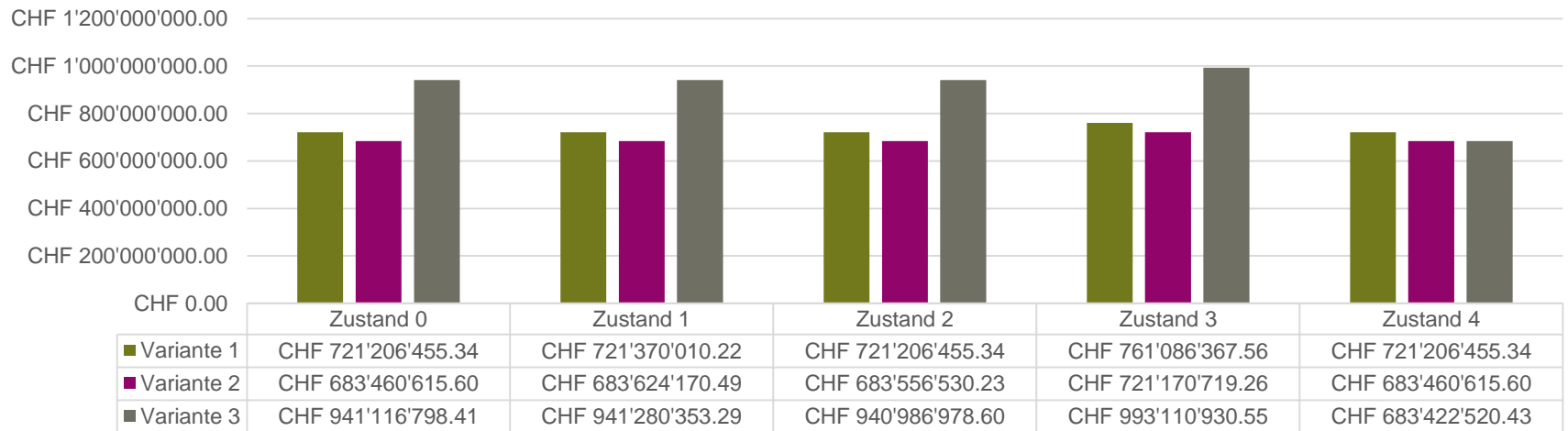
Begründung (1)

Zustand: 0



Begründung: (2)

Risiken der Varianten - Vergleich der Zustände



Schlussfolgerung und Ausblick:

- Empfehlung an die Stadt Uster:
 - Bau der Variante 2
 - Vergleich der Varianten 2 und 3 im Rahmen einer Hauptstudie
 - Variante 1 «keine Veränderung» —→ keine Option
- Fussgänger und ÖV in die Entscheidung miteinbeziehen
- Weitere Einflüsse modellieren (Unsicherheiten)
 - Verkehrssimulationen
 - Sicherheitslage vor Ort analysieren
 - Politischer Diskurs





Literaturverzeichnis

- i. Adey, B. T. 2019. Unterrichtsmaterial von Systems Engineering
- ii. BFS und ASTRA. 2019. Strassenfahrzeugbestand (MFZ).
- iii. Bundesamt für Raumentwicklung. 2004. Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bern. 2016.
- iv. Bundesamt für Raumentwicklung. 2004. Verkehrsperspektiven 2040. Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz.
- v. Bundesamt für Statistik (BFS). 2019. Leistungen des privaten Personenverkehrs auf der Strasse. Methodenbericht 2019
- vi. Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumentwicklung. 2017. Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015.
- vii. Ecoplan, VSS. 2007. Externe Kosten im Strassenverkehr. Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse.
- viii. Geschäftsfeld Stadtraum und Natur. 2019. Stadtentwicklungskonzept STEK. Stadt Uster.
- ix. Kanton Zürich. 2019a. GIS-Browser Kanton Zürich.
- x. Kontextplan AG, Christina Farner, Markus Hofstetter. 2010. Baukosten der häufigsten Langsamverkehrsinfrastrukturen. Hrsg. Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Anhang



Besitzerkosten

Unterhalts- und Baukosten:

$$K_U = K_{Bau} + \sum_{t=0}^T K_{Wartung,t}$$

$$K_{Wartung,t} = \sum_{k=1}^2 EK_{Wartung,k} \cdot s_k \cdot b_k$$

		Fahrbahn	Veloweg	Unterführung
Unterhaltskosten	$\frac{CHF}{m^2 \cdot Jahr}$	5	5	30
Baukosten	$\frac{CHF}{m}$	-	850	18'900

- Velounterführung: 3'750 CHF pro m² (Lastfall Eisenbahn)
- Rampe zur Unterführung: 130'000 CHF pro Rampe (Quelle: KONTEXPLAN AG, 2010)

Nutzerkosten

Betriebskosten:
$$K_B = \sum_{t=0}^T \left[\sum_{j=1}^2 EK_{B,j} \cdot s_k \cdot DTV_j \right] \cdot 365$$

Reisezeitkosten:
$$K_{TT} = \sum_{t=0}^T \left[\sum_{j=1}^2 DTV_j \cdot t_j \cdot EK_{TT,j} \right] \cdot 365$$

	Reisezeitkosten $\frac{CHF}{h}$	Betriebskosten $\frac{CHF}{Pkm}$	$t = \frac{s_k}{v_j} \left(1 + \alpha \left(\frac{DTV_j}{C_j} \right)^\beta \right)$
Velo	19.70	0.15	
MIV	31.52	0.7	

- Wartezeit pro Nutzer 5': Zugdurchfahrt ~ 3' + 2' (aufgrund eines mögliche Rückstaus)
- Wartezeit Variante 3: + 2' aufgrund des eingeführten Ampelsystem

Kosten der Öffentlichkeit (1)

Umweltbelastungskosten:
$$K_E = \sum_{t=0}^T \left(K_{L,t} + K_{S,t} \right)$$

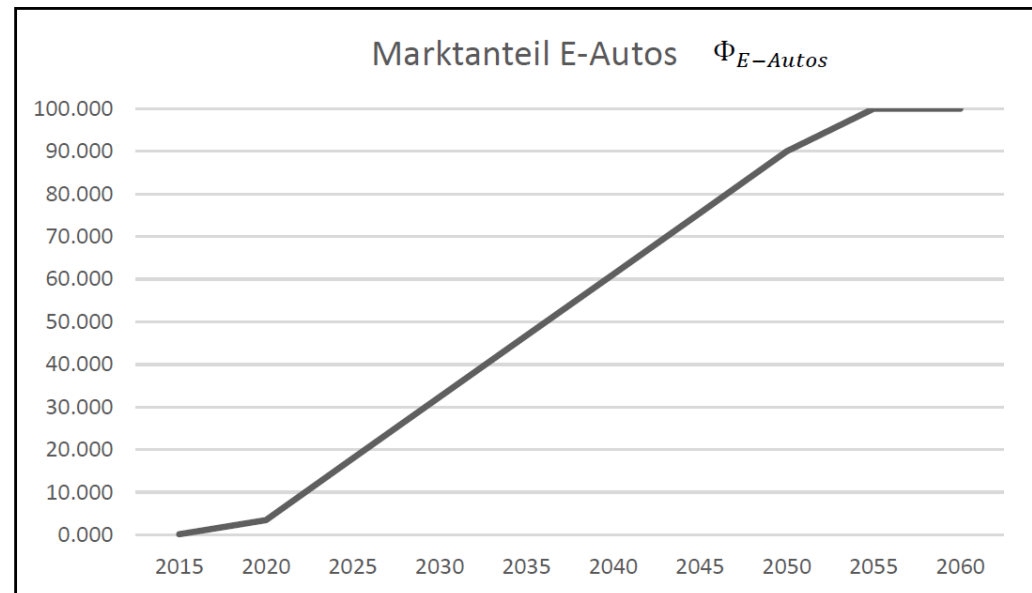
- Lärmbelastung: $K_{L,t} = EK_L \cdot DTV_{MIV,t} \cdot s_i \cdot 365$
- Schadstoffbelastung: $K_{S,t} = EK_S \cdot DTV_{MIV,t} \cdot s_i \cdot \left(1 - \Phi_{E-Auto,t} \right) \cdot 365$

	Umweltkosten $\frac{CHF}{Pkm}$
Schadstoffbelastung	0.0345
Lärmbelastung	0.0149

Quelle: Bundesamt für Raumentwicklung, 2004
«Externe Kosten des Strassenverkehrs»

Marktanteil E-Auto:

- 2019: 0.621%
 - (BFS & ASTRA)
- Prognose für 2050:
 - 90% Marktanteil
- Lineares Wachstum



Kosten der Öffentlichkeit (2)

Unfallkosten:
$$K_A = \sum_{t=0}^T \left[\sum_{j=1}^2 \left(\sum_{n=a}^c EK_{j,n} \cdot \gamma_{j,n} \right) \cdot DTV_j \cdot s_j \cdot 365 \right]$$

	Unfallkosten $\frac{CHF}{Unfall}$
Kategorie <i>a</i>	15'000
Kategorie <i>b</i>	110'000
Kategorie <i>c</i>	3.7 Mio.

Unfallart und -risiko:

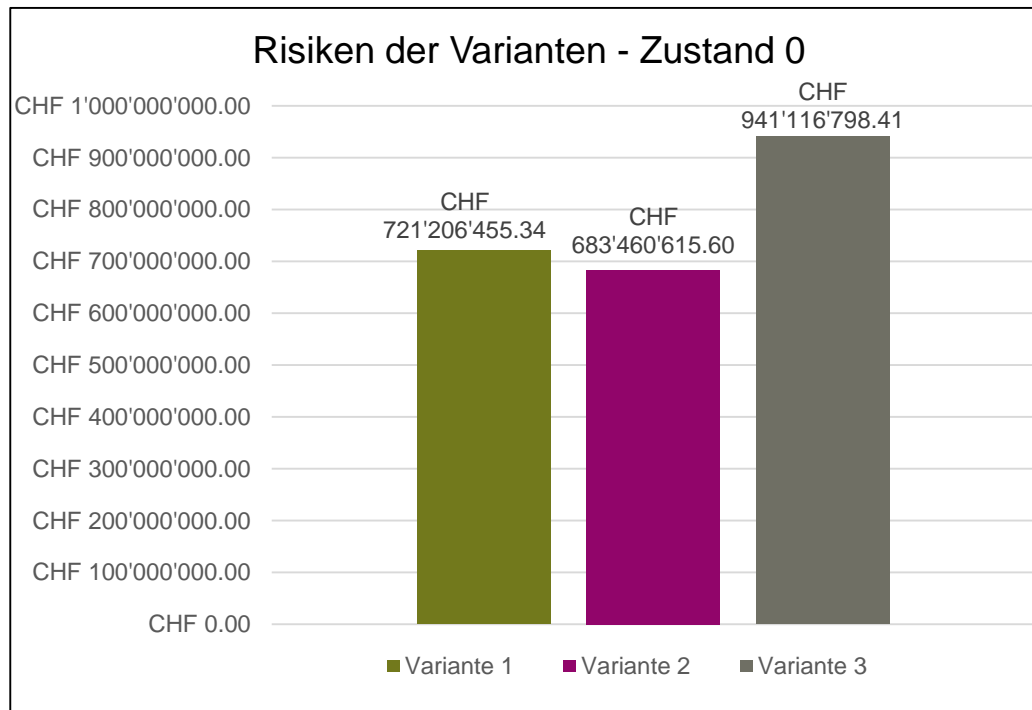
- 3 Kategorien:
 - (a): Sachschaden und leichtverletzte Personen
 - (b): Schwerverletzte Personen
 - (c): Todesfall

Fahrzeugtyp	Unfalltyp a	Unfalltyp b	Unfalltyp c
MIV	$1.222 \cdot 10^{-7}$	$1.915 \cdot 10^{-8}$	$1.171 \cdot 10^{-9}$
Velo	$1.117 \cdot 10^{-6}$	$3.484 \cdot 10^{-7}$	$1.032 \cdot 10^{-8}$

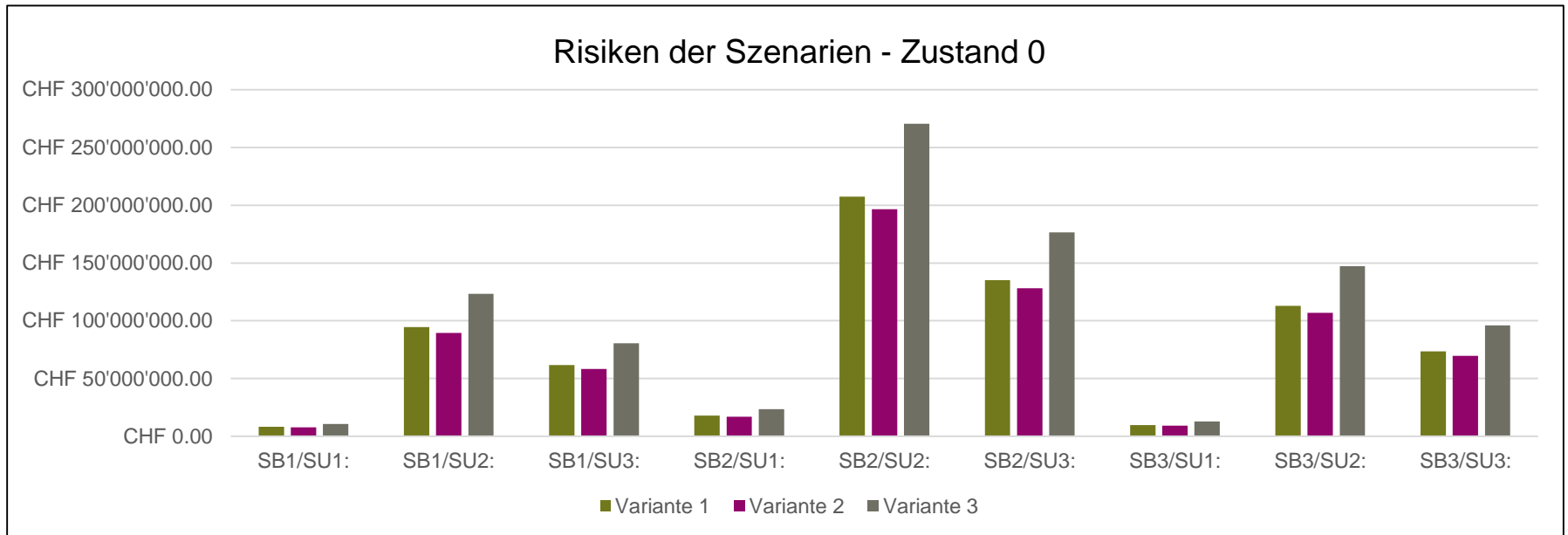
Quelle: BFS und ASTRA:
 «Leistung des privaten Personenverkehr»
 «Strassenverkehrsunfall-Statistik»

$$\left[\frac{Unfälle_{j,n}}{Pkm_j} \right]$$

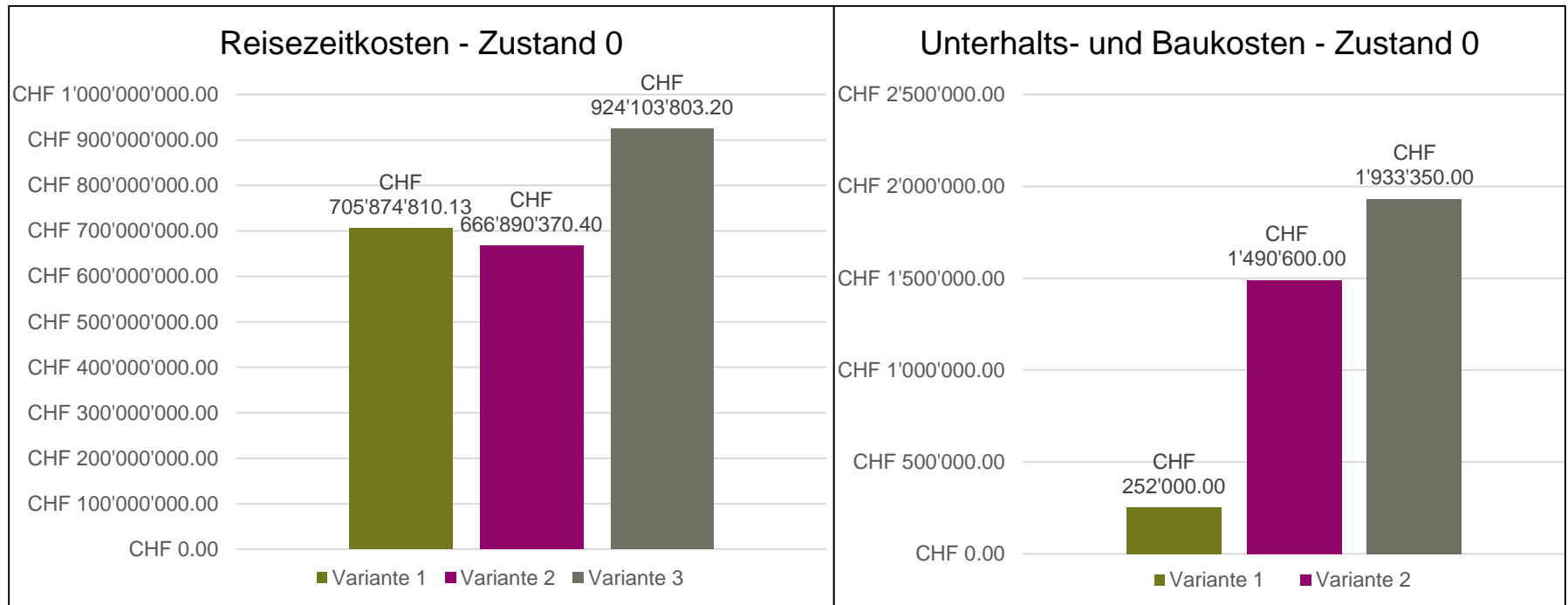
Resultate (1):



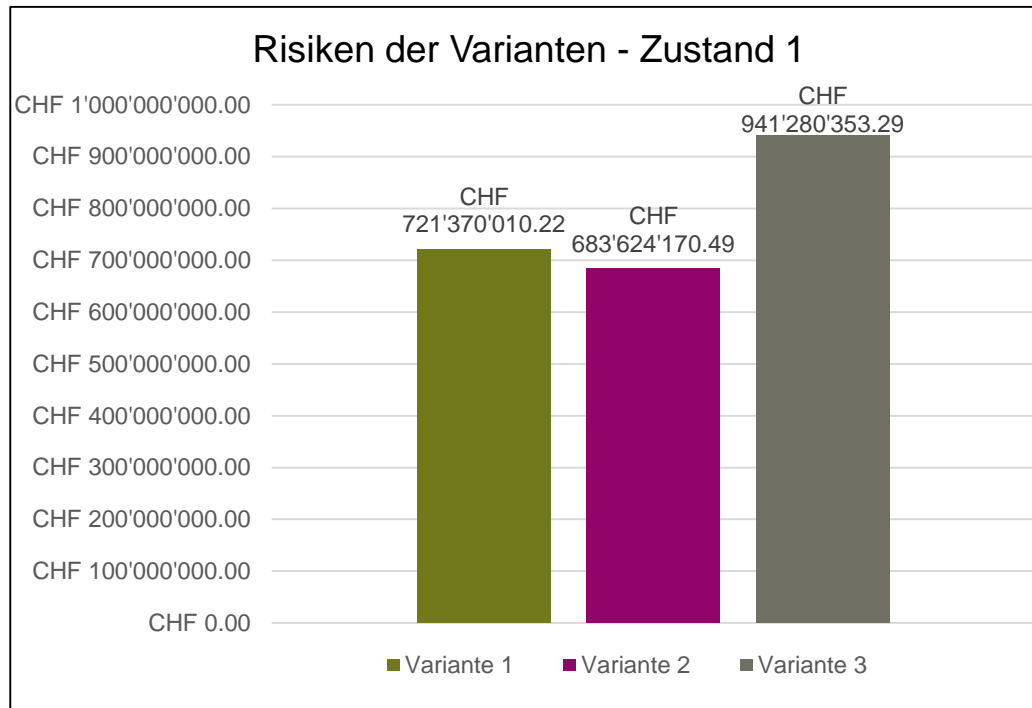
Resultate (2):



Resultate (3):



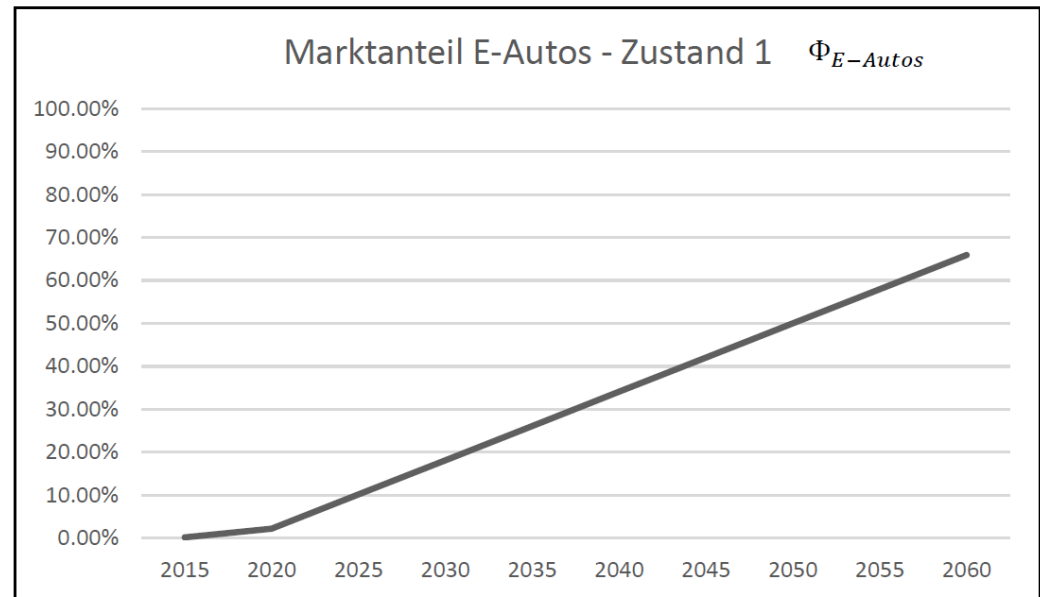
Resultate (4):



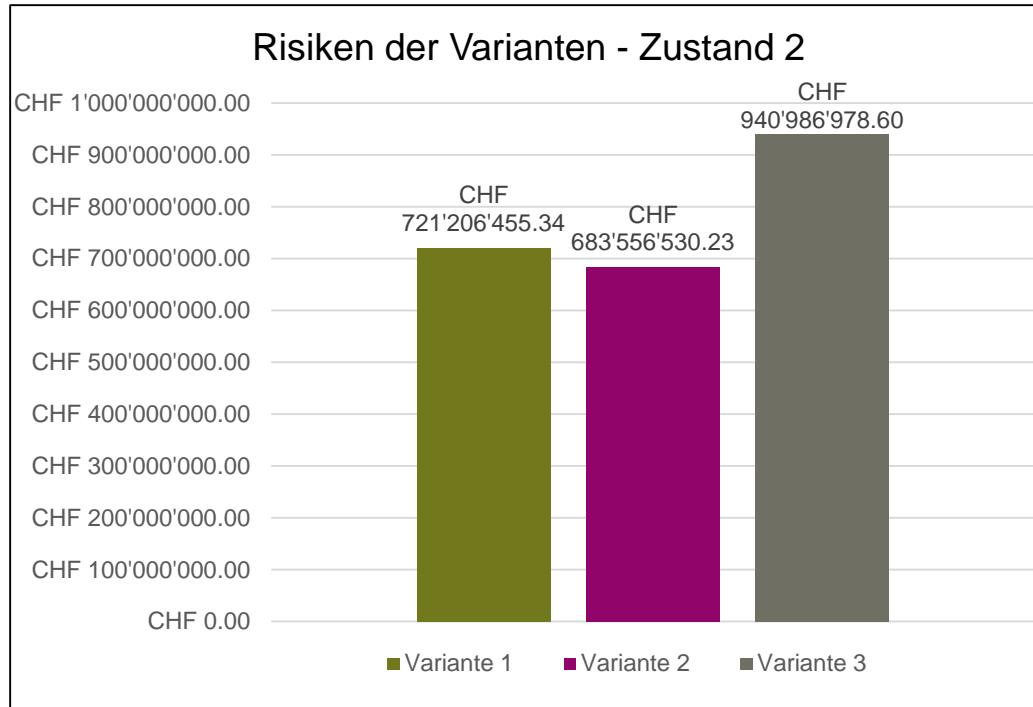
Mehrkosten für jede Variante: CHF 163'554.88

Marktanteil E-Auto: Zustand 1

- 2019: 0.621%
 - (BFS & ASTRA)
- Prognose für 2050:
 - 50% Marktanteil
- Lineares Wachstum

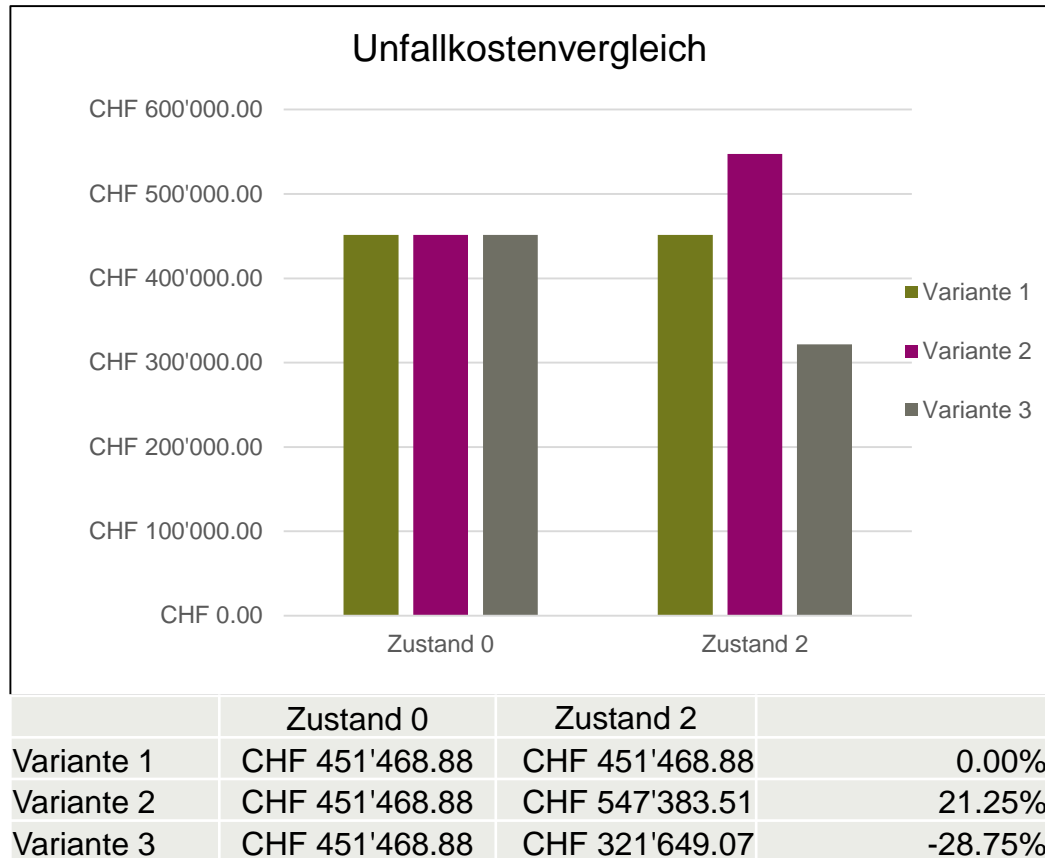


Resultate (5):

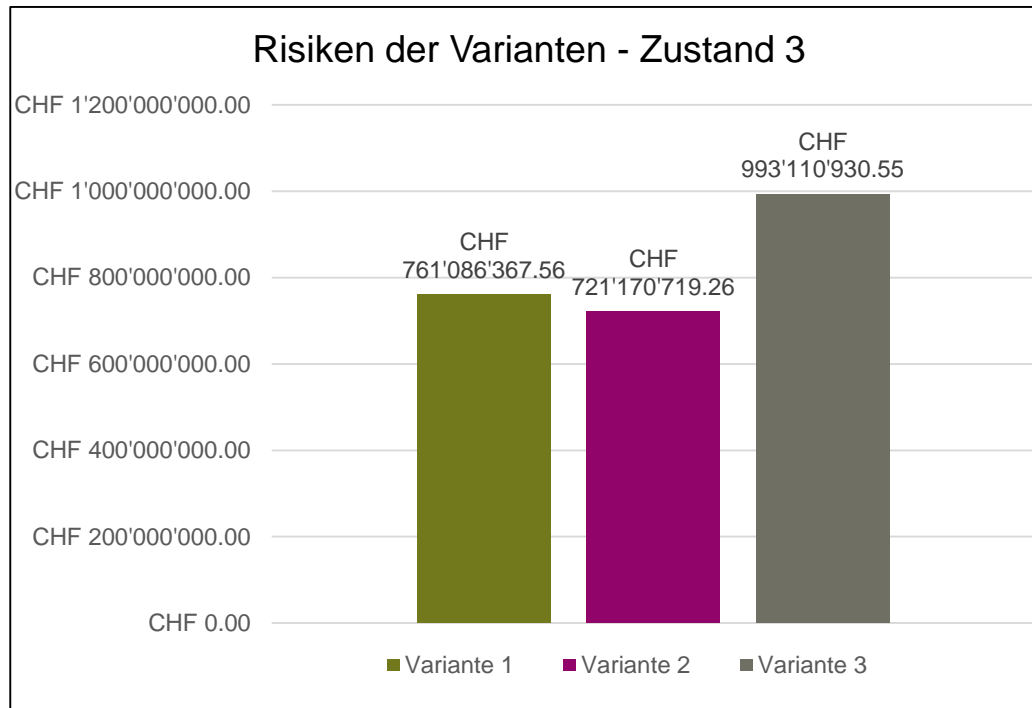


Erhöhung Unfallrisiko (Velo):		
Variante 1	Variante 2	Variante 3
0%	50%	0%
1.03E-08	1.55E-08	1.03E-08
3.48E-07	5.23E-07	3.48E-07
1.12E-06	1.68E-06	1.12E-06
Reduktion Unfallrisiko (MIV):		
-	-	5.85E-10
-	-	9.58E-09
-	-	6.11E-08
0%	0%	50%

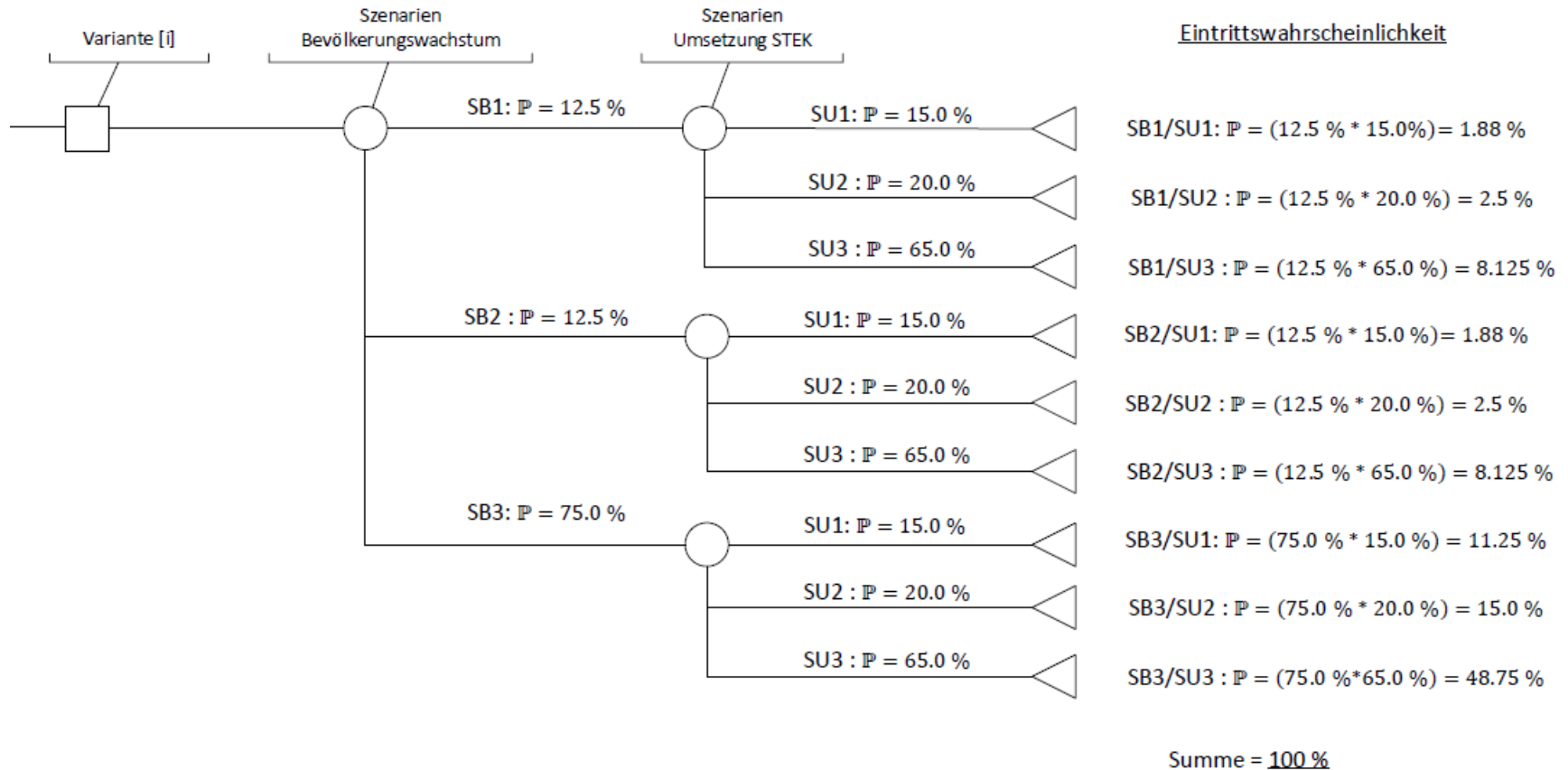
Resultate (6):



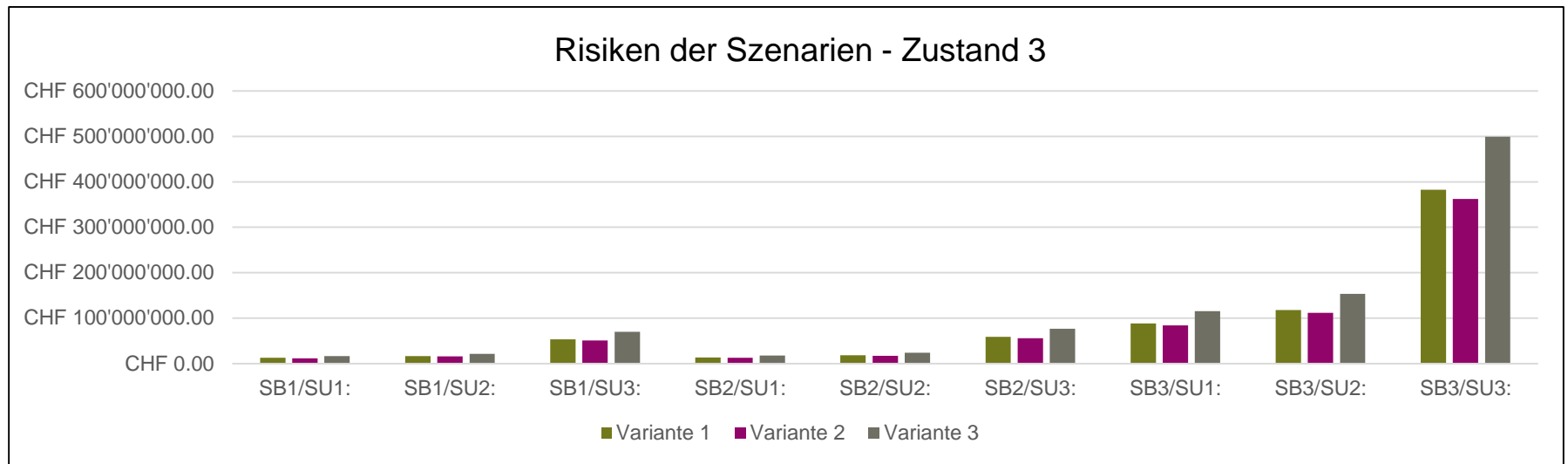
Resultate (7):



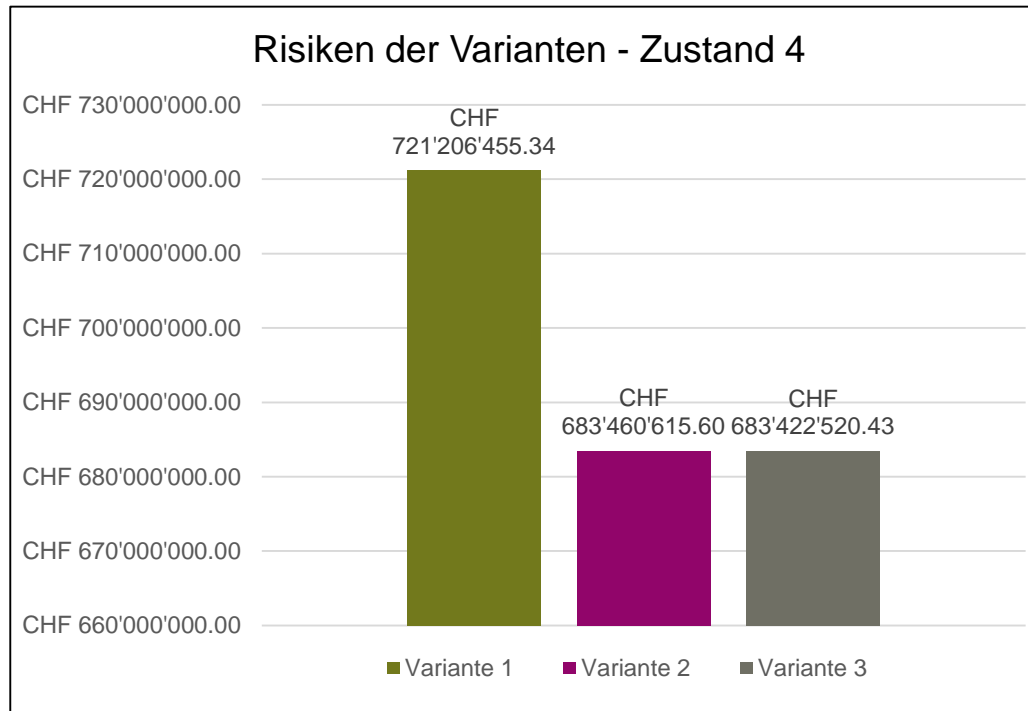
Szenarien – Zustand 3



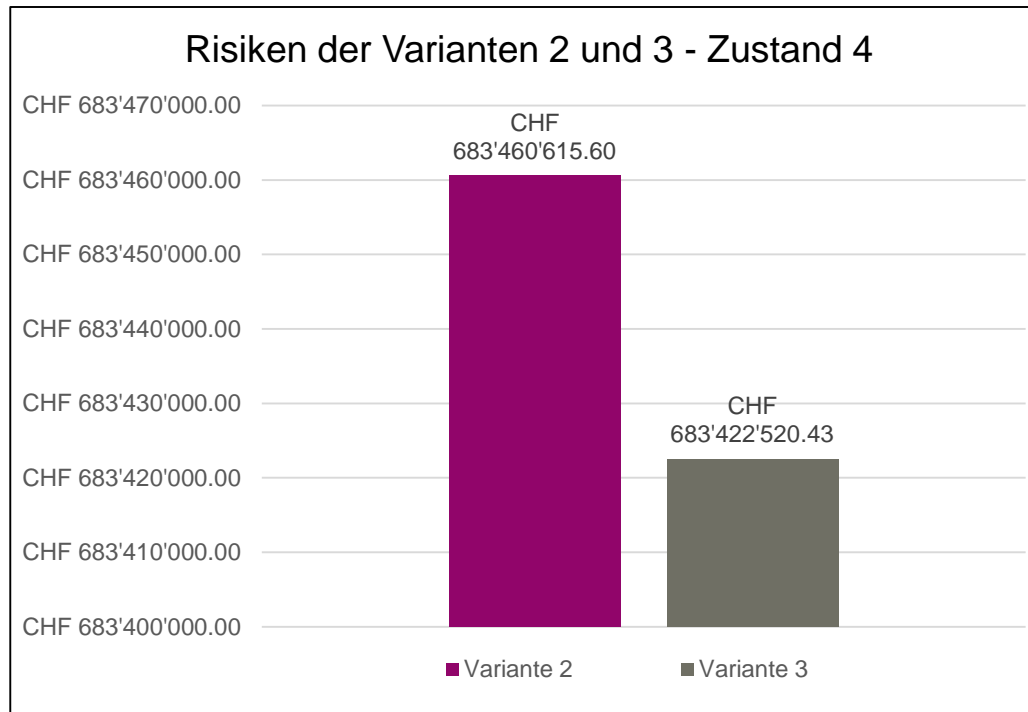
Resultate (8):



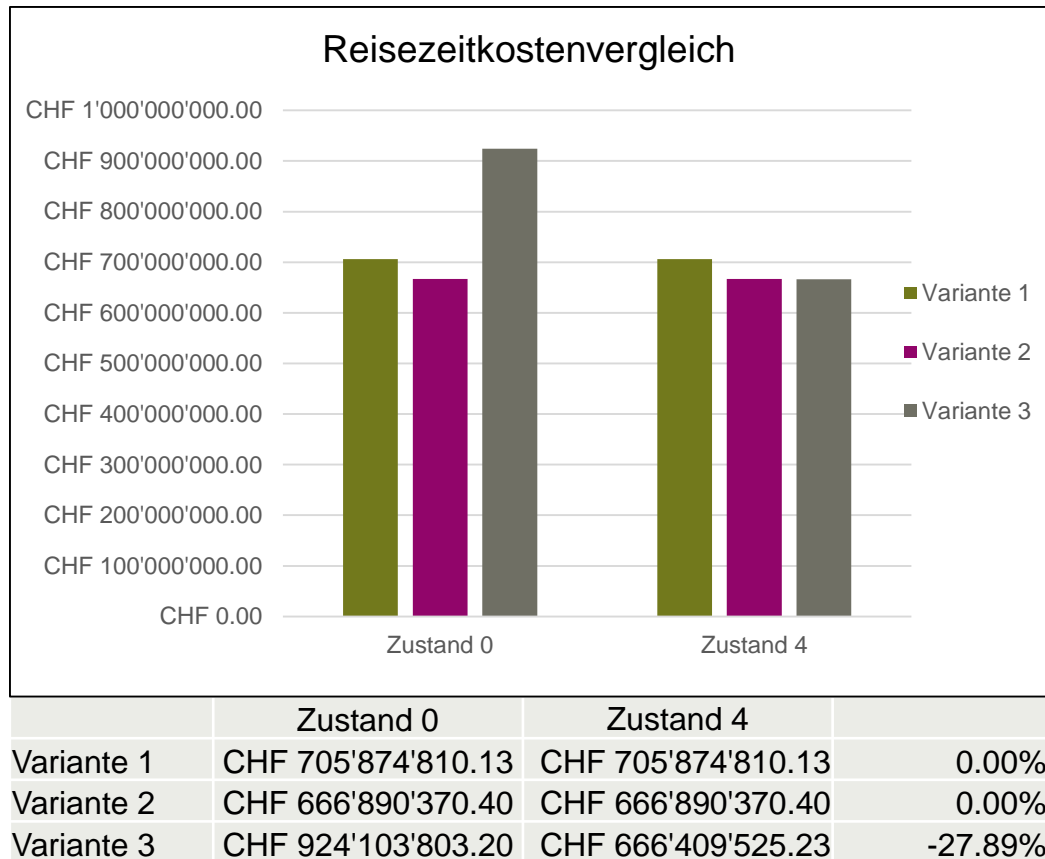
Resultate (9):



Resultate (10):



Resultate (11):



Resultate (12):

